
GEOTECHNIKA

Jerzy Rzeźniczak

ul. Albańska 18, 60-123 Poznań

tel. 61 661 57 57

61 655 94 00

tel. kom. 0504-119-650

e-mail: jerzy.rzezniczak@wp.pl

NIP 783-106-35-15

GEOTECHNICZNY PROJEKT

zabezpieczenia stateczności osuwiskowej

skarpy na ulicy Łódzkiej w Kaliszu

na odcinku od ul. Łęgowej do ul. Milej

DRUGIE WYDANIE

Nr arch. 333A/17

Opracowali:

dr inż. Jerzy Rzeźniczak

specjalista geotechnik
upr. geolog. nr VII-1166
certyfikat PKG nr 31/98

mgr inż. Joanna Michalak

certyfikat PKG nr 264

Poznań, marzec 2017 r.

<p>Zastrzega się wszelkie prawa wynikające z prawa autorskiego w odniesieniu do przedstawionego rozwiązania sposobu posadowienia</p>
--

ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA

CZĘŚĆ TEKSTOWA

1. Wstęp
 - 1.1. Cel opracowania
 - 1.2. Podstawa opracowania
2. Charakterystyka procesów osuwiskowych występujących na odcinku ul. Łódzkiej
 - 2.1. Opis lokalizacji
 - 2.2. Budowa geologiczna podłoża
 - 2.3. Występujące procesy osuwiskowe i ich przyczyny
3. Analiza warunków stateczności skarpy
 - 3.1. Ustalenie metody obliczeń stateczności skarpy
 - 3.2. Schemat obliczeniowy
 - 3.3. Przyjęte w obliczeniach założenia i parametry
 - 3.4. Obliczenia stateczności skarpy dla minimalnych parametrów wytrzymałościowych
 - 3.5. Podsumowanie
4. Ustalenia rodzaju i zakresu robót zabezpieczających stateczność skarpy
 - 4.1. Wykonanie drenażu
 - 4.2. Wykonanie robót wzmacniających i zabezpieczających skarpe
 - 4.3. Wykonanie nasypu zbrojonego geosiatką
5. Projekt zabezpieczenia stateczności skarpy
 - 5.1. Ustalenia ogólne odnośnie sposobów zabezpieczenia stateczności rozważanej skarpy
 - 5.2. Opis wykonania styku ilów i nasypu krótkimi kolumnami
 - 5.3. Obliczenia nośności kolumn
 - 5.4. Zestawienie ilości, rozmieszczenia i nośności kolumn
6. Projekt nasypu zbrojonego
 - 6.1. Ustalenia ogólne
 - 6.2. Opis techniczny wykonania nasypu zbrojonego

RYSUNKI

- Rys. 1. Plan sytuacyjny. Rozmieszczenie kolumn „jet grouting”
Rys. 2.1.÷2.3. Wzmocnienie osuwiskowego podłoża: Etap I, Etap II, Etap III
Rys. 3.1.÷3.7. Wzmocnienie osuwiskowego podłoża. Przekroje obliczeniowe 1÷8
Rys. 4. Ukształtowanie stropu ilów na trasie projektowanego drenażu

1. WSTĘP

1.1. Cel opracowania

Celem opracowania jest podanie sposobu zabezpieczania stateczności skarpy nasypu ulicy Łódzkiej w Kaliszu na odcinku o długości ok. 182,49 m usytuowanym między ulicą Łęgową i ulicą Miłą.

UWAGA:

Niniejsze opracowanie jest DRUGIM WYDANIEM „Projektu geotechnicznego” (w odniesieniu do pierwszego wydania z kwietnia 2015 r.), wykonanym z uwzględnieniem:

- 1) dodatkowych ustaleń odnośnie warunków gruntowych (głównie ukształtowania stropu ilów) rozpoznanych w wykonanej ostatnio (listopad 2016 r.) „Dokumentacji geologiczno – inżynierskiej” (poz. [7] w rozdz. 1.2.),
- 2) stwierdzonych ostatnio wyraźnych oznak dalszego rozwoju procesów osuwiskowych, co podano w „Karcie dokumentacyjnej osuwiska” sporządzonej w 2016 roku przez Krzysztofa Karwackiego i Jarosława Kaczorowskiego z Państwowego Instytutu Geologicznego.

1.2. Podstawa opracowania

- [1] Ustalenia projektowe dotyczące przebudowy rozważanego odcinka ulicy Łódzkiej, wykonanie przez „DROMOST” Poznań.
- [2] Opracowanie: „Badania geotechniczne podłoża gruntowego dla ustalenia przyczyn rozwoju procesów osuwiskowych w ul. Łódzkiej w Kaliszu między ul. Łęgową i Miłą” wyk. „GeoMenos” Jerzy Sobkowiak, Tomasz Sobkowiak, Poznań, lipiec 2009 r.
- [3] Opracowanie: „Koncepcje stabilizowania procesów osuwiskowych w ul. Łódzkiej w Kaliszu między ul. Łęgową i ul. Miłą (warianty rozwiązań)” wyk. „GeoMenos” Jerzy Sobkowiak, Tomasz Sobkowiak, Poznań, wrzesień 2009r.
- [4] Opracowanie: „Badania Geotechniczne podłoża gruntowego dla ustalenia przyczyn rozwoju procesów osuwiskowych w ul. Łódzkiej w Kaliszu między ul. Łęgową i Miłą (marzec 2014 r.)” wyk. „GeoMenos” Jerzy Sobkowiak, Tomasz Sobkowiak, Poznań, kwiecień 2014r.
- [5] Opracowanie: „Awaryjne zabezpieczenie skarpy nasypu na odcinku osuwiskowym przy ul. Łódzkiej w Kaliszu”, wyk. „GeoMenos” Jerzy Sobkowiak, Tomasz Sobkowiak, Poznań, maj 2014 r.

- [6] Archiwalne opracowanie: „DOKUMENTACJA GEOTECHNICZNA podająca:
- I. analizę warunków stateczności skarpy w rejonie odcinka 1+100÷1+500;
 - II. sposób zabezpieczenia stateczności skarpy;
 - III. sposób wzmocnienia nasypowego podłoża pod nawierzchnie projektowanej Trasy Bursztynowej w KALISZU”, wyk. dr inż. Jerzy Rzeźniczak, mgr inż. Joanna Rzeźniczak, „Geoprojekt Poznań”, grudzień 2003 r.
- [7] „Dokumentacja geologiczno – inżynierska dla projektowanej przebudowy ul. Łódzkiej w Kaliszu na odcinku pomiędzy ul. Łęgową a ul. Miłą związanej z likwidacją osuwiska” wyk. „GeoMenos”, Poznań listopad 2016 r.
- [8] Praktyczne doświadczenia wyniesione podczas analizowania, projektowania i realizacji podobnych zabezpieczeń i wzmocnień w podobnych warunkach gruntowych (na nachylonym stropie iłów), a w szczególności:
- osuwisko we Wronkach,
 - awaria nawierzchni na ul. Łódzkiej w Kaliszu (rejon pod Górą Winiarską),
 - zabezpieczenie stateczności skarpy Trasy Bursztynowej w Kaliszu,
 - zabezpieczenie stateczności awaryjnej skarpy w Koronowie.

2. CHARAKTERYSTYKA PROCESÓW OSUWISKOWYCH WYSTĘPUJĄCYCH NA ODCINKU UL. ŁÓDZKIEJ

2.1. Opis lokalizacji

Rozważany odcinek ul. Łódzkiej w Kaliszu - między ulicami Łęgową i Miłą - ma szerokość ok. 35,0 m i długość ok. 180 m. Odcinek ten - znajduje się na łuku drogi, mieści 4 pasy ruchu, 2 chodniki oraz ścieżkę rowerową - posadowiony jest na trawersie długiego zbocza. Od strony południowo-zachodniej nasyp drogowy tej ulicy ma skarpe o zróżnicowanej wysokości, maksymalnie ok. 5,0 m. Nawierzchnia jezdni jest znacznie nachylona, zgodnie z nachyleniem zbocza.

2.2. Budowa geologiczna podłoża

Ulica Łódzka na rozważanym odcinku posadowiona jest na trawersie długiego zbocza rozdzielającego wysoczyznę denno- morenową, powstałą w okresie zlodowacenia środkowopolskiego, od doliny rzeki Swędrni. Zbocze to porozcinane jest bruzdami erozyjnymi, utworzonymi w trzeciorzędowych osadach ilastych facji zastoiskowej zamkniętego zbiornika śródlądowego.

Bruzdy erozyjne wypełnione zostały: plastycznymi i miękkoplastycznymi glinami oraz glinami próchnicznymi i piaskami.

Nachylony strop gruntów spoistych utworzony jest w przewadze z iłów. Lokalnie jednak bezpośrednio pod nasypami, stwierdzone zostały dwa „gniazda” (o grubości ok. 1,0 m) miękkoplastycznych glin próchnicznych, co zaznaczono na załączonym planie sytuacyjnym (wg oznaczeń w dokumentacji geotechnicznej [4] - warstwa IIIa GH o $I_L=0,60$).

Wykonane ostatnio dodatkowe badania (przedstawione w „Dokumentacji geologiczno – inżynierskiej [7]) dostarczyły dodatkowych informacji o złożoności ukształtowania stropu iłów, łącznie z ujawnieniem wyraźnej bruzdy erozyjnej (w przekroju poprzecznym w km 0+120).

2.3. Występujące procesy osuwiskowe i ich przyczyny

W wykonywanej w kwietniu 2014 r. przez firmę „GeoMenos” dokumentacji geotechnicznej (poz. [4] w rozdz. 1.2.) zamieszczono opis oraz zdjęcia procesów osuwiskowych występujących na rozważanym odcinku ulicy Łódzkiej. W opisie tym istotne są spostrzeżenia, że osuwiskowe destrukcje - widoczne na nawierzchni jezdni i chodnika - rozwijają się tu już od dłuższego czasu. Dotychczas likwidowano jedynie skutki tych osuwisk, przez nakładanie kolejnych wyrównujących warstw nawierzchni asfaltobetonowej, dochodząc do powiększenia jej grubości nawet do $60 \div 100$ cm. Ostatnio jednak (wiosną 2014 r.) na odcinku ok. 25,0 m. wystąpiło osuwisko o tak niepokojąco awaryjnym charakterze, że potrzebne było natychmiastowe wykonanie konstrukcyjnych zabezpieczeń obejmujących skarpe tego fragmentu nasypu drogowego. W tym wykonanym zabezpieczeniu zastosowano następujące elementy:

- 1) poziomy drenaż podskarpowy o średnicy 200mm,
- 2) 8 gwoździ 8” długości $6,0 \div 8,0$ m, wkręconych ukośnie w skarpe, o nośności $150 \div 200$ kN,
- 3) gabiony o wymiarach $1,5 \times 1,0 \times 1,0$ m ułożone u podnóża skarpy w 3 warstwach na odcinku 21,50 m (wg projektu - poz. [5] w rozdz. 1.2.).

Z „Karty dokumentacyjnej osuwiska”, sporządzonej w 2016 r. przez Krzysztofa Karwackiego i Jarosława Kaczorowskiego z Państwowego Instytutu Geologicznego wynika, że zabezpieczenie to nie wyeliminowało całkowicie ruchów osuwiskowych. Stwierdzono, że **koniecznym będzie rozszerzenie prac stabilizacyjnych również o ten obszar.**

Przyczyny występujących tu osuwisk są następujące:

1) Nachylenie stropu ilów

Strop ilów na rozważanym odcinku wykazuje duże, a lokalnie nawet bardzo duże, nachylenie w kierunku doliny Swędrni. Znane są jednak przykłady występowania osuwisk nawet przy niedużym (6° ÷ 8°) nachyleniu nawodnionego stropu ilów.

2) Spływ wody gruntowej

Od strony wysoczyzny w kierunku doliny rzeki Swędrni występuje - po stropie ilów i glin deluwialnych spływ - wód gruntowych. Skutkuje to takimi niekorzystnymi efektami jak:

- następuje bardzo znaczne uplastycznienie powierzchni ilów (na głębokości kilkunastu milimetrów), a piasków gliniastych oraz glin w całej warstwie;
- spływająca po stropie nieprzepuszczalnym woda wywołuje procesy sufuzyjne w piaszczystych nasypach, co skutkuje rozluźnieniem i zmniejszeniem ich zagęszczenia.

3) Niekorzystny rodzaj i stan nasypów pod nawierzchnią

Z przeprowadzonych badań wynika, że podłoże pod istniejącą konstrukcję nawierzchni nie spełnia kryteriów stawianych przez normę PN-S-02205. Pod nawierzchnią znajdują się nasypy w dużej części utworzone z luźnych piasków i gleby, a także z uplastycznionych glin. Obecny luźny stan nasypów jest także spowodowany zaistniałymi tu znacznymi i zróżnicowanymi przemieszczeniami natury osuwiskowej.

4) Uszkodzenia istniejących podziemnych instalacji.

Udokumentowane zniszczenia istniejącego przepustu wykazują, że zachodzące tu znaczne osuwiskowe ruchy mas ziemnych mogły również doprowadzić do przemieszczeń i rozszczelnień istniejących przewodów kanalizacyjnych. Takie uszkodzenia będą skutkowały wprowadzeniem w podłoże dodatkowych szkodliwych nawodnień.

5) Procesy wysadzinowe i inne.

Do procesów destrukcyjnych w obrębie ostatniego osuwiska (marzec, kwiecień 2014 r.) – w opracowaniu poz. [4] w rozdz. 1.2. - zaliczono również zaistniałe procesy wysadzinowe na skarpie.

W tym powstałym osuwisku dopatrzono się również niekorzystnego wpływu wykonywanych tu (wrzesień 2013 r.) robót przygotowawczych, a polegających na usunięciu- ze skarpy i z jej podnóża- rosnących tam drzew i krzewów, których korzenie miały znaczący wpływ na stateczność skarpy.

Uwaga dodatkowa: Podczas przeprowadzanej wizji lokalnej zainteresowano się także pęknięciami i zarysowaniami widocznymi na ścianach budynku mieszkalnego nr 64, znajdującego się w najbliższym sąsiedztwie awaryjnego odcinka ulicy Łódzkiej.

Analiza rodzaju i usytuowania tych widocznych zniszczeń pozwala stwierdzić, że są one skutkiem niekorzystnych oddziaływań pochodzących od posadowienia budynku na iłach. Problemy związane ze stanem technicznym tego budynku nie są tu rozpatrywane, wymagają oddzielnego opracowania.

3. ANALIZA WARUNKÓW STATECZNOŚCI SKARPY

3.1. Ustalenie metody obliczeń stateczności skarpy.

Dla potrzeb zabezpieczenia stateczności skarpy budowanej w 2008 r. Trasy Bursztynowej w Kaliszu (poz. [6] w rozdz. 1.2.) - gdzie w podłożu zalegają ily tej samej formacji geologicznej- przeprowadzone zostały szczegółowe badania właściwości tych iłów dla potrzeb wykonywanych wówczas analiz stateczności skarpy.

Możliwym jest wykorzystanie tych praktycznie sprawdzonych ustaleń, również przy analizowaniu warunków stateczności rozważanej obecnie skarpy ulicy Łódzkiej.

Analizę stateczności skarp na osuwiskowych iłach trzeciorzędowych należy przeprowadzać używając do tego parametrów geotechnicznych określonych specjalnymi metodami.

Praktyka wykazała, że bardzo trafnym są w tym zakresie zalecenia prof. Borowicki, prof. Kezdiego i prof. Wiłuna.

Analizy stateczności zboczy w innych terenach zaistniałych osuwisk wykazały, że zastosowane w obliczeniach tzw. rezidualne parametry wytrzymałościowe ładu dobrze oddają warunki zachodzące na analizowanych osuwiskach.

Parametry rezidualne c_r i Φ_r wyznacza się w aparacie bezpośredniego ścinania przez kilkakrotne ścinanie tej samej próbki z cofaniem skrzyni po każdym ścięciu do początkowej pozycji, aż do uzyskania stałej minimalnej wartości oporu ścinania próbki.

Badania wykonane laboratoryjne dla próbek iłu pobranych z podłoża Trasy Bursztynowej wyznaczyły bardzo małe wartości rezydualne:

$$\text{I: } \begin{aligned} c_r &= 0 \text{ kPa,} \\ \Phi_r &= 14^\circ 20' \end{aligned}$$

Wykonano również inne laboratoryjne oznaczenie parametrów wytrzymałościowych ilów zalegających na stropie warstwy i uplastycznionych przez przepływającą wodę. W aparacie skrzynkowym zainstalowano w jednej skrzynce ił, a w drugiej pobraną z podłoża próbkę nasypu (piasek drobny). Tak przygotowany grunt poddano moczeniu w wodzie (pobranej z podłoża). Ił w styku znacznie uplastycznił się po 24 godzinach moczenia. Z badań wytrzymałości takiego układu wyznaczono wartości średnie:

$$\text{II: } \begin{aligned} c_u &= 5,0 \text{ kPa,} \\ \Phi_u &= 5,0^\circ \end{aligned}$$

Przeprowadzone teraz dla potrzeb zbocza ul. Łódzkiej obliczenia statyczne z użyciem obu zestawów parametrów (I i II) wykazały, że do analiz stateczności zbocza należy zastosować wartości z II zestawu: **$c_u=5,0 \text{ kPa}$** **$\phi_u=5^\circ$** , ponieważ skutkują bardziej niekorzystnymi warunkami stateczności. Obliczenia stateczności wykonano metodą Kezdiego.

3.4. Obliczenia stateczności skarpy dla minimalnych parametrów wytrzymałościowych - zestaw II: $c_u=5,0$ kPa, $\phi_u=5^\circ$

- Suma sił utrzymujących:

$$U = T + E_p \cdot \cos \alpha = N \cdot \tan \phi_u + c_n \cdot L + E_p \cdot \cos \alpha$$

$$\text{gdzie: } N = W \cdot \cos \alpha$$

- Suma sił zsuwających:

$$Z = W \cdot \sin \alpha + E_a \cdot \cos \alpha$$

gdzie:

W - suma sił pionowych:

W_I - od ciężaru nasypu nad stropem iłu,

W_{II} - od ciężaru nawierzchni i chodnika oraz obciążeń użytkowych.

Wymagany warunek stateczności skarpy:

$$\frac{U}{Z} \geq 1,3$$

Przykładowe obliczenia dla przekroju 0+028,00:

$$W_I = 1\,080,35 \text{ kN}$$

$$W_{II} = 536,27 \text{ kN}$$

$$W = W_I + W_{II} = 1\,080,35 + 536,27 = 1\,616,62 \text{ kN}$$

$$E_a = \frac{17 \cdot 1,3^2}{2} \cdot \tan^2(45^\circ - \frac{28^\circ}{2}) = 5,19 \text{ kN}$$

dla $\alpha=9^\circ$

$$N = W \cdot \cos \alpha = 1.616,62 \cdot \cos 9^\circ = 1596,72 \text{ kN}$$

Suma sił utrzymujących:

$$U = 1596,72 \cdot \tan 5^\circ + 5 \cdot 43,4 = 139,69 + 217 = \mathbf{356,7 \text{ kN}}$$

Suma sił zsuwających:

$$Z = 1616,62 \cdot \sin 9^\circ + 5,19 \cdot \cos 9^\circ = \mathbf{257,8 \text{ kN}}$$

Warunek stateczności w tym przekroju **jest spełniony**, ponieważ:

$$\frac{U}{Z} = \frac{356,7}{257,8} = \mathbf{1,38 > 1,3}$$

W egzemplarzu archiwalnym znajdują się obliczenia statyczne ustalające warunki stateczności skarpy w przekrojach:

0+028,00

0+049,90

0+070,16

0+090,60

0+110,30

0+120,00

0+130,30

0+159,40

Poniżej w tabl. 1 zestawiono wyniki tych obliczeń.

Zestawienie wyników obliczeń stateczności skarpy

TABLICA 1

Lp.	Przekrój km	U [kN]	Z [kN]	$F = \frac{U}{Z}$
1.	0+ 028,00	356,7	257,8	1,38 > 1,30
2.	0+ 049,90	392,8	339,4	1,16 < 1,30
3.	0+ 070,16	343,3	436,7	0,79 < 1,30
4.	0+090,60	361,9	365,4	0,99 < 1,30
5.	0+ 110,30	254,8	266,6	0,96 < 1,30
6.	0+ 120,00	269,4	386,8	0,70 < 1,30
7.	0+ 130,30	246,7	255,7	0,96 < 1,30
8.	0+ 159,40	343,3	436,7	0,79 < 1,30

3.5. Podsumowanie:

- 1) Obliczenia statyczne, których efektem końcowym są wartości współczynnika pewności rozumianego jako:

$$F = \frac{\text{suma sił utrzymujących}}{\text{suma sił zsuwających}}$$

wykonane zostały z zastosowaniem zestawu parametrów wytrzymałościowych (tj. $c_u = 5 \text{ kPa}$ $\phi_u = 5^\circ$) występujących w potencjalnej powierzchni poślizgu.

Takie najbardziej niekorzystne parametry posiada górna powierzchnia stropu iłu uplastycznionego przez przepływającą po nim wodę.

2) Analiza obliczonych wartości współczynnika pewności F (podanych w tabl.1) wykazuje, że:

- sytuacja zagrożenia utratą stateczności występuje zdecydowanie w 6-ciu przekrojach (od 0+070,16 do 0+159,40),
- jedynie przy szczęśliwym zbiegu okoliczności możliwe będzie zachowanie stateczności skarpy w rejonie przekroju 0+049,90, gdzie jednak współczynnik $F=1,16$ jest mniejszy od wymaganego $F=1,30$.
- stateczność skarpy może być zachowana jedynie w rejonie jednego przekroju 0+028,00 gdzie $F=1,38 > 1,30$.

3) Wszystkie uwarunkowania - wynikające z przeprowadzonych obliczeń, a także z praktycznych doświadczeń wyniesionych z podobnych sytuacji - wykazują, że w istniejących warunkach określonych przez:

- znaczny kąt nachylenia stropu iłów,
- obecność wody gruntowej płynącej po stropie iłów,
- znaczne obciążenie zbocza: istniejącymi nasypami, nawierzchnią drogową oraz obciążeniem użytkowym od ruchu drogowego,

stateczność skarpy na rozważanym odcinku nie będzie zachowana!

Jest więc **koniecznym przeprowadzenie odpowiednich robót zabezpieczających stateczność rozważanej skarpy.**

Projekt wykonania takiego zabezpieczenia podano w dalszej części opracowania.

4. USTALENIA RODZAJU I ZAKRESU ROBÓT ZABEZPIECZAJĄCYCH STATECZNOŚĆ SKARPY

4.1. Wykonanie drenażu

Niezależnie od przyjętego technicznego sposobu zabezpieczenia i wzmocnienia rozważanej skarpy, w istniejących tu warunkach należy wyprzedzająco wykonać drenaż zupełny (usytuowany poniżej stropu iłów), umożliwiający przyjmowanie wód gruntowych spływających po nachylonym stropie iłów.

Usytuowanie tego drenażu przedstawiono na załączonym planie (rys. 1) oraz na przekrojach poprzecznych (rys. 3.1.÷3.8.). Natomiast na rys. 4 przedstawiono ukształtowanie stropu iłów na trasie projektowanego drenażu. Przy projektowaniu tego

drenażu należy ustalić jego zagłębienie poniżej poziomu nawierzchni tak, aby nawet w stwierdzonym najgłębszym usytuowaniu stropu iłu (w przekroju 0+090,60 – rzędna 112,90 m. n.p.m.) wykonany został drenaż zupełny (tj. usytuowany poniżej stropu iłów).

Przewiduje się, że wody z drenażu będą odprowadzane do istniejącego tu rowu z przepustem.

W tych warunkach koniecznym będzie wykonanie w pierwszej kolejności nowego przepustu oraz drenażu.

4.2. Wykonywanie robót wzmacniających i zabezpieczających skarpe

Na rozważanym odcinku ulicy Łódzkiej występują wyraźne objawy świadczące o rozwijającym się osuwisku nasypu drogowego. Jest to widoczne zarówno u podnóża nasypu, jak i w postaci charakterystycznych deformacji i zarysowań nawierzchni drogi oraz chodnika. Koniecznym będzie wykonanie robót wzmacniających i zabezpieczających stateczność nasypu drogowego. Rodzaj i zakres tych prac omówiono w rozdziale 5.

4.3. Wykonanie nasypu zbrojonego geosiatką

Projektowany tu nasyp zbrojony ułożony będzie pod nowymi nawierzchniami jezdni i chodnika. Nasyp ten będzie spełniał dwie funkcje:

- 1) Ze względu na rodzaj i zły stan zalegających tu nasypów projektowany nasyp zbrojony umożliwi uzyskanie od podłoża pod nową powierzchnią nośności wymaganej przez normę PN-S-02205.
- 2) Nasyp zbrojony dość sztywną geosiatką (z poliwinylalkoholu), będzie bardzo ważnym elementem konstrukcyjnym, umożliwiającym bezpieczne przenoszenie naprężeń rozciągających, które mogłyby wystąpić podczas ewentualnych tendencji do inicjacji zsuwu zbocza.

Szczegółowe dane o projektowanym tu nasypie zbrojonym podano w rozdziale 6.

5. PROJEKT ZABEZPIECZENIA STATECZNOŚCI SKARPY

5.1. Ogólne ustalenia odnośnie sposobów zabezpieczenia stateczności rozważanej skarpy

Przy wyborze optymalnego (technicznie i ekonomicznie) sposobu wykonania zabezpieczenia stateczności skarpy **analizowano następujące rozwiązania:**

- 1) **Wykonanie żelbetowej konstrukcji oporowej** przejmującej deficyt między wyznaczonymi siłami utrzymującymi (U) i zsuwającymi (Z) z zachowaniem wymaganego współczynnika pewności $F = 1,3$.

Problem ten można by tu rozwiązać takimi konstrukcjami jak:

- 1° - ściana oporowa wykonana z żelbetowej ściany szczelinowej,
- 2° - palisada wykonana z pali dużych średnic,
- 3° - użycie rozwiązania już tutaj zastosowanego (konstrukcja z gwoździ wkręcanych i gabiony).

- 2) **Zlikwidowanie znacznej części sił zasuwających, przy jednoczesnym zwiększeniu sił utrzymujących**, można by uzyskać przez wykonanie nowego ukształtowania stropu łąk.

Zrealizowanie takiego rozwiązania wymagałoby jednak wykonania robót ziemnych o znacznej objętości. Należałoby bowiem całkowicie usunąć obecnie zalegające nasypy, a dotychczas nachylony strop łąk wyprofilować do prawie poziomych półek schodzących kilkoma tarasami z góry ku dołowi.

- 3) **Wzmocnienie styku między uplastycznionym stropem łąk i zalegającymi nad nim nasypami.**

W tym rozwiązaniu przewidziano wykonanie bardzo krótkich kolumn (długości ok. 2,0 m) częściowo zagłębionych w łąkę, częściowo w nasypie. Wymiary takich kolumn, ich ilość i rozmieszczenie można ustalić z odpowiednich obliczeń, ustalając poziomą nośność kolumny, uwarunkowaną parciem biernym.

Kolumny tego szczególnego rodzaju można dość prosto wykonać tylko jedną technologią - „jet grouting”.

Analiza wszystkich uwarunkowań technicznych i wykonawczych oraz kosztów każdego z tych rozwiązań, doprowadza do jednoznacznego stwierdzenia, że w rozważanym przypadku **najwłaściwszym będzie zastosowanie rozwiązania nr 3, tj. przewidującego wzmocnienie styku łąk i nasypu krótkimi odcinkami kolumn typu „jet grouting”.**

Taki sposób zabezpieczenia stateczności jest naszym (Jerzy Rzeźniczak, Joanna Michalak) oryginalnym rozwiązaniem, dotychczas nieopisanym w literaturze. Ten sposób został jednak już praktycznie skutecznie sprawdzony przy zabezpieczeniu stateczności skarpy budowanej Trasy Bursztynowej w Kaliszu (rok 2008). Warunki gruntowe i problemy do rozwiązania były tam podobne do rozważanych obecnie na ulicy Łódzkiej.

5.2. Opis wykonania wzmocnienia wykonania wzmocnienia styku ilów i nasypu krótkimi kolumnami

Projektowane tu krótkie kolumny (ok. 2,0 m) można wykonać praktycznie tylko technologią „jet grouting”. **Wykonywanie robót w tej technologii umożliwia: bardzo precyzyjne robocze ustalenie poziomu występowania stropu ilów**, a więc dokładne zagłębienie żerdzi z dyszami ma projektowaną głębokość oraz wykonanie kolumny zagłębionej w części w ilach, w części w nasypie.

Przez unoszenie i obrót żerdzi, przy ciśnieniu tłoczonego zaczynu cementowego (rzędu $450 \div 600$ at.), możliwym będzie uzyskanie projektowanej wysokości kolumn.

Dodatkową korzystną okolicznością będzie możliwość penetracji zbędnego urobku zaczynu cementowego w luźny i porowaty nasyp.

Wykonanie projektowanych krótkich kolumn będzie dość proste dla specjalistycznego przedsiębiorstwa wykonawczego. **Koniecznym jednak będzie wyprzedzające wykonanie próbnych kolumn i po ich odkopaniu uzyskanie potwierdzenia osiągnięcia założonych wymiarów kolumn.**

5.3. Obliczenia nośności kolumn

Poniżej zamieszczono przykładowe obliczenia nośności kolumny dla sytuacji w przekroju 0+110,30. Obliczenia dla pozostałych przekrojów znajdują się w egzemplarzu archiwalnym, a ich wartości końcowe podano w tablicy 2.

5.3.1. Przekrój 0+110,30

Dane:

1) nasyp:

- wysokość – 1,90 m
- ciężar objętościowy $\gamma_1 = 17 \text{ kN/m}^3$
- kąt tarcia $\varnothing_1 = 28^\circ$

2) il:

- stopień plastyczności $I_L = 0,20$
- ciężar objętościowy $\gamma_2 = 20,1 \text{ kN / m}^3$

- kat tarcia $\phi_2 = 10,3^\circ$
- spójność $c_2 = 49,1 \text{ kPa}$

3) kolumna:

- zagłębienie w łą- 1,0 m.
- zagłębienie w nasypie – 1,0 m.
- średnica 0,80 m.

Parcie bierne na część kolumny zagłębionej w nasypie:

- w poziomie górnej krawędzi kolumny:

$$e_{pN}^1 = \gamma_1 \cdot h_1 \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\phi_1}{2}\right) = 17 \cdot (1,9 - 1,0) \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{28^\circ}{2}\right) = \mathbf{42,4 \text{ kN/m}^2}$$

- w poziomie stropu łąów:

$$e_{pN}^2 = \gamma_1 \cdot h_2 \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\phi_1}{2}\right) = 17 \cdot 1,9 \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{28^\circ}{2}\right) = \mathbf{89,5 \text{ kN/m}^2}$$

- wypadkowa parcia biernego w nasypie:

$$E_{pN} = \frac{42,4 + 89,5}{2} \cdot 1,0 \cdot 0,8 = \mathbf{52,8 \text{ kN/m}^2}$$

Parcie bierne na część kolumny zagłębionej w łąach:

- w poziomie stropu łąów:

$$\begin{aligned} e_{pI}^1 &= \gamma_1 \cdot h_2 \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\phi_2}{2}\right) + 2 \cdot c_2 \cdot \text{tg}\left(45^\circ + \frac{\phi_2}{2}\right) \\ &= 17 \cdot 1,9 \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{10,3^\circ}{2}\right) + 2 \cdot 49,1 \cdot \text{tg}\left(45^\circ + \frac{10,3^\circ}{2}\right) = \mathbf{264,0 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

- w poziomie podstawy kolumny:

$$\begin{aligned} e_{pI}^2 &= e_{pI}^1 + \gamma_2 \cdot h \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\phi_2}{2}\right) + 2 \cdot c_2 \cdot \text{tg}\left(45^\circ + \frac{\phi_2}{2}\right) \\ &= 264,0 + 20,1 \cdot 1,0 \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{10,3^\circ}{2}\right) + 2 \cdot 49,1 \cdot \text{tg}\left(45^\circ + \frac{10,3^\circ}{2}\right) = \mathbf{410,4 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

- wypadkowa parcia biernego w nasypie:

$$E_{pI} = \frac{264,0 + 410,4}{2} \cdot 1,0 \cdot 0,8 = \mathbf{269,8 \text{ kN/m}^2}$$

Podsumowanie:

Do dalszych analiz uwzględniono boczną nośność kolumny uwarunkowaną wypadkową parcia biernego, obliczoną dla części kolumny zagłębionej w nasypie, czyli dla kolumn usytuowanych w przekroju 0+110,30 nośność wynosi: $E_{pN} = \mathbf{52,8 \text{ kN/m}^2}$.

5.3.2. Kolumny w rejonie przekrojów 0+049,90 i 0+070,16

Z analizy warunków gruntowych rozpoznanych w rozważanym podłożu wynika, że w otworach wiertniczych wykonanych w rejonie przekrojów 0+049,90 i 0+070,16 pod nasypem zamiast ilów lokalnie zalega warstwa gruntów organicznych. Iły występują dopiero pod tą warstwą, którą w przewadze jest glina próchnicza w stanie miękkoplastycznym o $I_L = 0,60$. Warstwa tego słabego gruntu ma grubość ok. 1,0 m. W takich warunkach koniecznym będzie wydłużenie o 1,0 m kolumn zlokalizowanych w tym rejonie, tak aby w ich bocznej nośności uczestniczyła dolna część kolumny zagłębiona 1,0m. w ilach.

Podobna sytuacja została rozpoznana również w rejonie między przekrojami obliczeniowymi 0+130,30 i 0+159,40 gdzie pod nasypem stwierdzono występowanie około 1,0-metrowej warstwy miękkoplastycznych glin. Tam również wydłużono 62 kolumny o dodatkowy 1,0 metr.

Na załączonym planie sytuacyjnym (rys. 1) przedstawiono oba wydzielone obszary rozpoznanego występowania słabych glin próchniczych oraz miękkoplastycznych glin, podając również lokalizację kolumn o wydłużonej do 3,0 m długości (łącznie $47 + 62 = 109$ szt.).

5.4. Zestawienie ilości, rozmieszczenia i nośności kolumn

TABLICA 2

Przekrój	Porównanie sił utrzymujących U i zsuwających Z [kN/m]			Nośność pozioma kolumny [kN]	Osiowy rozstaw kolumn w rzędzie [m]	Ilość kolumn w rzędzie [szt]	Rozstaw rzędów [m]
	U	Z	Deficyt sił dla spełnienia $U \geq 1,3 \cdot Z$				
0+028,00	356,7	257,8	$F=1,38$	56,5	-	-	-
0+049,90	392,8	339,4	48,5	79,1	3,00	3	2,50
0+070,16	343,3	436,7	224,4	93,4	2,50	6	2,50
0+090,60	361,9	365,4	113,1	97,6	2,50	6-7	2,50
0+110,30	254,8	266,6	91,78	52,8	2,20	2	1,75
0+120,00	269,4	386,8	233,4	113,0	2,20	4	1,75
0+130,30	246,7	255,7	85,7	49,0	1,50	3	1,75
0+159,40	343,3	436,7	224,4	93,4	2,50	6	2,40

Łączna długość kolumn:

Długość 1 kolumny [m]	Ilość [szt]	Długość kolumn [m]
2,0	152	304
3,0	109	327
RAZEM	261	631

6. PROJEKT NASYPU ZBROJONEGO

6.1. Ustalenia ogólne

6.1.1. Ogólna charakterystyka warunków gruntowych w istniejącym nasypie drogowym

Przeprowadzone badania geotechniczne wykazały, że nasyp drogowy pod istniejącą nawierzchnią charakteryzuje się bardzo niekorzystnymi właściwościami, które są niezgodne z wymaganiami stawianymi podłożu gruntowemu pod konstrukcją nawierzchni przez normę PN-S-02205. W tym nasypie drogowym czynnikami niekorzystnymi są:

- 1) Skład nasypów** jest bardzo zróżnicowany, występują w nim grunty niespoiste o zróżnicowanym uziarnieniu, ale także: gleba i plastyczne gliny. W niektórych otworach wiertniczych (na głębokościach $0,40 \div 0,75$ m) lokalnie natrafiono na pierwotną nawierzchnię drogi z kostki granitowej oraz z kamienia polnego. Takie elementy wprowadzają dodatkową niejednorodność w podłożu.
- 2) Stan nasypów** (czyli ich zagęszczenie) jest bardzo niejednorodny, stan od zagęszczonego do luźnego. W znacznej części nasypy są w stanie luźnym, a nawet w stanie bardzo luźnym ($I_D < 0,15!$) Istnienie w nasypie stref tak rozluźnionych jest skutkiem zaistniałych przemieszczeń mas ziemnych, a spowodowanych zachodzącymi tu procesami osuwiskowymi.
- 3) Grubość warstwy nasypów** (rozpatrywana w przekroju poprzecznym drogi) jest również bardzo zróżnicowana. Z lewej strony- warstwa nasypów jest bardzo cienka, konstrukcja nawierzchni prawie dotyka stropu iłów, a z prawej strony-nasypy mają znaczną grubość (do ok. 4,50 m).

Rozpoznane właściwości rozważanego nasypowego podłoża są na tyle niekorzystne, że **niedopuszczalnym byłoby budowanie na tym nasypie nowych nawierzchni drogowych, bez wcześniejszego wykonania odpowiednich wzmocnień.**

6.1.2. Ogólna charakterystyka projektowanego wzmocnienia nasypem zbrojonym

Zaprojektowano wykonanie pod nawierzchniami dodatkowego nasypu zbrojonego geosiatką z poliwinylalkoholu.

Parametry nasypu zbrojonego - tj. rodzaj kruszywa, grubość warstwy, rodzaj i właściwości geosiatki - ustalone zostały dla spełnienia wymagań stawianych podłożu pod nawierzchniami drogowymi, a w szczególności dla uzyskania wymaganej nośności podłoża pod konstrukcją nawierzchni (wartości $E_{v2} \geq 120$ MPa podanego w normie PN-S-02205).

Założono, że zaprojektowane wzmocnienie spełniać będzie także drugą dodatkową funkcję, a mianowicie warstwa kruszywa łamanego $0 \div 63$ mm zbrojona geosiatką 200/50-20 - ułożona pod nową nawierzchnią jezdni i pod prawym chodnikiem - **będzie bardzo ważnym elementem konstrukcyjnym, umożliwiającym przenoszenie naprężeń rozciągających, które mogłyby wystąpić podczas ewentualnych tendencji do inicjacji zsuwu zbocza.**

6.2. OPIS TECHNICZNY WYKONANIA NASYPU ZBROJONEGO

6.2.1. Konieczność wykonania robót w trzech etapach

Podczas wykonywanych robót na ulicy Łódzkiej, wymagane jest zachowanie ciągłości ruchu pojazdów, a więc koniecznym będzie działanie etapowe, tak aby połowa jezdni była udostępniona dla ruchu.

Na załączonych rys. 2.1. ÷ 2.3. przedstawiono schematy działań w trzech etapach:

ETAP I – Zakres robót:

- 1) *Przygotowanie prawej części jezdni do dwustronnego ruchu* na czas robót na lewej części, czyli wykonanie dodatkowego pasa tymczasowej nawierzchni drogowej (wg projektu drogowego).
 - 2) *Wykonanie wykopu na lewej części jezdni:*
 - szerokość wykopu 8,50m (jak na rys. 2.1.),
 - głębokość wykopu obejmuje:
 - projektowaną nową konstrukcję nawierzchni – 47cm,
 - nasyp zbrojony – 50cm,
- czyli wykop o głębokości 97cm, zgodnie ze spadkiem nawierzchni.

3) *Wykonanie drenażu* (wg oddzielnego opracowania).

4) *Dogęszczenie dna wykopu* przez 10cm-nakładkę kruszywa łamanego 0/63mm.

Na dnie wykopu należy ułożyć 10 cm warstwę kruszywa łamanego o uziarnieniu ciągłym $0 \div 63$ mm i zagęścić ją (razem z nasypowym podłożem) ciężką płytą wibracyjną lub walcem wibracyjnym.

Tak zagęszczona warstwa musi posiadać nośność scharakteryzowaną wartością $E_{v2} \geq 60$ MPa (z badań próbnego obciążenia płytą VSS).

5) *Ułożenie geosiatki:*

- geosiatkę należy rozwijać w kierunku poprzecznym do osi drogi. Geosiatki są produkowane najczęściej o szerokości 5,0 m;
- poszczególne pasma należy łączyć przez stosowanie zakładów o szerokości 50 cm, co zwiększa potrzebną powierzchnię geosyntetyków o 10% (przy szerokości 5,0 m);
- geosyntetyki na zakładach należy przytwierdzać do podłoża stalowymi klamrami wykonanymi z prętów stalowych $\phi 10$ lub $\phi 8$ mm w kształcie litery „U” z ramionami 300 mm rozstawionymi o 100 mm. Klamry należy wbijać co $2,5 \div 3,0$ m;
- geosyntetyki muszą leżeć równo na podłożu, bez fałd i załamań.

UWAGA: Pasma geosiatki (na rysunkach poz. 1) o długościach od 25,70 do 28,10 m, należy przygotować do wymaganej ciągłej kontynuacji siatki przez całą szerokość drogi. Nadmiar geosiatki, potrzebny dla robót w III-cim etapie, zwinąć na krawędzi wykopu I-go etapu. Dopuszczalne jest przedłużenie pasm geosiatki w kierunku podłużnym, stosując przy tym dwuwarstwowe, 1,0-metrowe zakłady.

6) *Wykonanie nasypu z kruszywa łamanego 0/63mm:*

- niedopuszczalne jest jeżdżenie sprzętem budowlanym bezpośrednio po ułożonej geosiatce,
- ruch pojazdów będzie możliwy dopiero po ułożeniu warstwy nasypu o minimalnej grubości 30 cm.
- nasyp należy budować warstwami kolejno zagęszczonymi walcem wibracyjnym lub ciężką płytą wibracyjną.

7) *Przeprowadzenie badań kontrolnych*

Należy wykonać badania nośności nasypu zbrojonego (na jego górnej powierzchni) przez próbne obciążenie płytą VSS.

1 badanie na 250m² nasypu. Wymagane kryterium $E_2 \geq 120 \text{ MPa}$.

8) *Wykonanie nowej nawierzchni umożliwiającej przejście dwukierunkowego ruchu na czas robót II i III etapu.*

ETAP II – Zakres robót:

- 1) *Wykonanie wykopu o głębokości uwarunkowanej grubością projektowanej nawierzchni i nasypu zbrojonego.*
- 2) *Wykonanie kolumn „jet grouting” (wg ustaleń podanych w rozdz. 5.).*

ETAP III – Zakres robót podobnie jak w ETAPIE I – pozycje od 3) do 8), z tym, że na prawej części jezdni zaprojektowano ułożenie dodatkowego pasma geosiatki 200/50-20, ułożonego na górnej powierzchni nasypu zbrojonego (na rysunkach poz. 2).

6.2.2. Charakterystyka materiałów:

poz. 1. geosiatka 200/50-20

- rodzaj materiału – poliwinylalkohol,
- wytrzymałość na zerwanie:
 - wzdłuż $\geq 200 \text{ kN/m}$
 - w poprzek $\geq 50 \text{ kN/m}$
- siła rozciągająca przy wydłużeniu 2%:
 - wzdłuż $\geq 50 \text{ kN/m}$
 - w poprzek $\geq 16 \text{ kN/m}$
- wielkość oczek: 20 x 20 mm

poz. 2. kruszywo łamane o uziarnieniu ciągłym 0 /63 mm

- rodzaj minerału - np.: bazalt, granit, melafir, spełniający wymagania normy PN-S-06102 oraz PN-B-11112: 1996 Kruszywa mineralne - kruszywa łamane do nawierzchni drogowych.

6.2.3. Zestawienie ilości materiałów:

poz. 1. geosiatka 200/50-20

potrzeba 7 700 m², czyli do zakupienia 16 rolek po 500 m², tj. **8 000 m²**

poz. 2. kruszywo łamane 0/63mm - 1 910 m³

UWAGA KOŃCOWA:

Podczas wykonywania projektowanych robót wzmacniających koniecznym będzie pełnienie nadzoru autorskiego umożliwiającego wprowadzenie ewentualnych korekt i uzupełnień uzależnionych m.in. od warunków rozpoznanych w trakcie robót.